مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۳۴، شماره ۲، سال ۱۳۹۷

ارزیابی تحمل ارقام منتخب گندم نان به بیماری زنگ زرد

Evaluation of Tolerance to Yellow Rust Disease in Some Selected Bread Wheat Cultivars

سید طه دادرضائی[۱]، احمد جعفرنژاد[۲]، ایرج لک‌زاده[۳]، فرزاد افشاری[۴]، زهره حسن بیات[۵] و سیدنصراله طباطبایی[۶]

۱- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نیشابور، ایران.
۳ و ۶- پژوهشگر، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
۴- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۵- کارشناس، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱/۲۰

چکیده

دادرضائی، س. ط.، جعفرنژاد، ا.، لک‌زاده، ا.، افشاری، ف.، حسن بیات، ز.، و طباطبایی، س. ن. ۱۳۹۷. ارزیابی تحمل ارقام منتخب گندم نان به بیماری زنگ زرد. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۴:** ۱۲۵-۱۴۲. 10.22092/spij.2018.118831

تحمل به بیماری از این واقعیت نشأت می‌گیرد که در شرایط بیماری شدید کاهش عملکرد در برخی ارقام زراعی کمتر از سایر ارقام در همان شدت بیماری است و از نظر تولید محصول عملکرد مناسبی دارند. به‌منظور ارزیابی میزان تحمل ارقام گندم نسبت به زنگ زرد در این پژوهش ۲۰ رقم انتخابی گندم در طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقاتی نیشابور بررسی شدند. اثر زنگ زرد بر عملکرد محصول گندم در شرایط بیماری شدید (تنش) در مقایسه با شرایط حفاظت شده از بیماری (عدم تنش) بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصله هر چند میانگین درصد کاهش عملکرد ۲۰ رقم مورد بررسی نسبت به زنگ زرد ۱۸/۲ درصد برآورد شد ولی دامنه‌ی خسارت وارد شده به ارقام مورد بررسی در این پژوهش در اثر زنگ زرد از ۳/۵ تا ۵۷ درصد متغیر بود. بر اساس نتایج دو ساله شاخص‌های تنش، از میان ارقام حساس به زنگ زرد سه رقم اینیا، نیشابور و کویر به ترتیب با ۱۳، ۱۴ و ۱۶ درصد کاهش عملکرد، و از گروه ارقام نیمه حساس رقم تجن با ۵/۷۱ درصد کاهش عملکرد متحمل‌تر به این بیماری ارزیابی شدند. در این بررسی، رقم مقاوم سیروان با میانگین آلودگی 5MS بالاترین واکنش مقاومت را نسبت به زنگ زرد نشان داد اما میانگین کاهش عملکرد دانه این رقم در شرایط بیماری حدود ۱۵ درصد و میانگین وزن هزاردانه آن نسبت به سیروان محافظت شده از بیماری نه درصد کاهش نشان داد.

واژه‌های کلیدی: گندم، زنگ زرد، تحمل به بیماری، مقاومت به بیماری، کاهش عملکرد دانه.

نگارنده مسئول: tahareza2000@yahoo.com تلفن: ۰۵۱۳۸۸۲۰۱۱۹

مقدمه

زنگ‌ها مهم‌ترین تنش زنده هستند که باعث کاهش عملکرد گندم در جهان بویژه در شرایط همه‌گیری می‌شوند. زنگ‌ها بیشترین تاثیر را بر عملکرد و اجزاء عملکرد دارند. در ایران زنگ زرد مهم‌ترین بیماری غلات می‌باشد و بیش از زنگ‌های دیگر گندم شیوع داشته و خسارت وارد می‌سازد. به‌عنوان مثال در همه‌گیری سال ۷۲-۱۳۷۱ میزان خسارت زنگ زرد در ایران ۱۵ درصد یعنی در حدود ۱/۵ میلیون تن دانه گندم کاهش تولید برآورد گردید (Torabi *et al.*, 1995). در بسیاری از مناطق تولید گندم، کاهش عملکرد ناشی از زنگ زرد بسته به درجه حساسیت رقم، آلودگی در مراحل اولیه، میزان توسعه بیماری، و طول مدت بیماری از ۱۰٪ تا ۷۰٪ متغیر گزارش شده است (Chen, 2005).

استفاده از ارقام مقاوم مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش کنترل بیماری ناشی از زنگ‌ها است. اما به‌دلیل تغییر پذیری پرآزاری در زنگ‌ها و توانایی ایجاد نژادهای جدید، مقاومت ارقام تجاری به بیماری شکسته می‌شود و در صورت مساعد بودن شرایط محیط به‌دلیل قدرت تکثیر و تولید مثل سریع آنها باعث همه‌گیری گسترده بیماری می‌شوند. عدم کنترل بیماری زنگ‌ها در زمان مناسب باعث خسارت قابل توجهی به محصول می‌شود. در چنین شرایطی تحمل گزینه مناسبی در مدیریت بیماری در صورت شکسته شدن مقاومت می‌باشد که از خسارت سنگین به محصول و کاهش شدید عملکرد جلوگیری می‌گردد.

راهبرد دفاعی گیاه در برابر حمله بیمارگر را می‌توان به مقاومت یا تحمل تقسیم کرد. تحمل به بیماری توانایی گیاه در کم اثر کردن آسیب حمله بیمارگر و تولید محصول قابل قبول است حتی در شرایطی که به بیمارگر آلوده شده باشد. تحمل نتیجه فعالیت و ویژگی‌های وراثتی گیاه میزبان است که ضمن اجازه دادن به بیمارگر برای رشد و تکثیر در میزبان، به دلیل جبران کردن اثر یا غیر فعال نمودن ترشحات محرک یا مضر بیمارگر، ترتیبی می‌دهد تا محصول خوبی تولید شود. گیاهان متحمل در واقع به بیمارگر حساس هستند ولی توسط آن از بین نرفته و عموما آسیب اندکی می‌بینند. در حالی که هدف مقاومت جلوگیری از رشد یا کاهش رشد بیمارگر در داخل گیاه می‌باشد، تحمل عواقب و پیامدهای ناشی از صدمات بیمارگر را محدود می‌کند.

توانایی ارقام در تحمل به آلودگی بالای بیماری زنگ‌ها بدون کاهش شدید محصول می‌تواند یک حفاظت با ارزش از محصول ایجاد نماید و به‌عنوان یک گزینه مناسب در مدیریت بیماری محسوب گردد. هدف اصلی در انتخاب گیاهان متحمل به بیماری نیز تولید عملکرد بالا و پایداری عملکرد در شرایط بیماری می‌باشد. در بیماری‌های قارچی استفاده از پدیده مقاومت خیلی بیشتر از تحمل است. این تا حد زیادی به‌دلیل محافظت بالای گیاه در برابر بیمارگر

توسط پدیده مقاومت می‌باشد که به‌طور معمول به‌صورت مقاومت تک ژنی می‌باشد، هر چند که ممکن است نژادهای پرآزار به راحتی تولید و یا از خارج وارد شده و منجر به شکست آن شوند.

به همین دلیل طول مدت موثر ماندن مقاومت حاصل از این ژن‌ها به نحوه استفاده از این ژن‌ها بستگی دارد. استفاده غیر اصولی و بدون برنامه‌ریزی منجر به تحریک، ایجاد و افزایش جمعیت پرآزاری برای ژن‌ها و غیر موثر شدن آنها می گردد (Nazari *et al.,* 2001). بنابراین تحمل یک راهکار بسیار مناسب هم برای مدیریت بیماری در ارقامی که مقاومت آن‌ها به دلیل استفاده از تک ژن‌هایی که مقاومت آن‌ها احتمالاً شکسته می‌شود خواهد بود و هم طول مدت موثر ماندن ژن‌های مقاومت را افزایش خواهد داد. مطالعات درباره تحمل به بیماری زنگ در گندم‌ها بسیار محدود است (Caldwell *et al.,* 1958; Roberts *et al.,* 1984).

توانایی تحمل ارقام به شدت آلودگی بالای زنگ‌ها بدون کاهش شدید محصول می‌تواند یک نوع ثبات پایدار از کاهش محصول در برابر این بیماری‌ها ایجاد کند زیرا در این شرایط فشاری به‌عنوان گزینش طبیعی در جمعیت بیمارگر وجود نخواهد داشت (Caldwell *et al.,* 1958). اگر چه گزارش‌های معدودی در ارتباط با تحمل به زنگ در غلات وجود دارد ولی بحث تحمل به بیماری قدمت زیادی دارد.

کاب (Cobb, 1894) واژه Rust-Endurance را در تحمل گندم به زنگ برای توصیف یک نوع واکنش به زنگ در گندم به‌کار برد که هرچند گیاه به زنگ‌ها آلوده شده بود اما عملکرد خوبی داشت. نامبرده همچنین توضیح داد که این نوع گندم‌ها بسیار نادر می‌باشند. بولی و پریچارد (Bolley and Pritchard, 1906) پیشنهاد دادند که با گزینش ارقام با وزن هزاردانه بالا در شرایط آلودگی شدید به بیماری زنگ می‌توان ارقام متحمل به زنگ را انتخاب نمود.

یکی از معیارهای مهم در گزینش و معرفی ارقام با عملکرد بالا پایداری عملکرد در شرایط محیطی متفاوت می‌باشد. روش‌های متعددی برای ارزیابی پایداری عملکرد ارقام گیاهی ارائه شده است که هدف اصلی این گونه پژوهش‌ها مقایسه عملکرد در شرایط محیطی متفاوت (تنش و بدون تنش) بوده است (Clarke *et al.,* 1992; Ehdaie *et al.,* 1988). شناخت و ساز و کار و مسیرهای پاسخ به تنش‌های غیر زنده (به‌عنوان مثال نسبت به خشکی، شوری، سرما و گرما) شبیه به پاسخ‌های مورد استفاده به تنش‌های زنده است (Munns and Tester, 2008).

فیشر و مارور (Fisher and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (SSI) را برای اولین بار برای خشکی معرفی کردند که فقط می‌تواند گیاهان

با عملکرد بالا در محیط تنش آبی را انتخاب کند و ژنوتیپ‌های انتخابی تظاهر خوبی در محیط بدون تنش نخواهند داشت و این ایرادی بود که بر آن وارد شده است. با توجه به مساله بیماری و حساس شدن ارقام موجود، پژوهش‌های لازم به منظور شناخت ارقام متحمل و درک سازوکارهای تحمل به بیماری در کشور ضروری است.

در ایران تا کنون تحقیقی بر روی میزان تحمل ارقام گندم نسبت به زنگ‌ها انجام نشده است. تحمل به بیماری می‌تواند یکی از ویژگی‌های مهم برای ارقام گندم باشد. با توجه به اینکه نواحی گسترده‌ای از کشور گندم در معرض تنش‌های غیر زنده می‌باشند (Amini *et al.*, 2015; Amirifar, *et al.*, 2011) و برای بسیاری از این مناطق ارقام متحمل به تنش محیطی وجود دارد اما به دلیل حساس بودن به بیماری زنگ ممکن است از چرخه تولید حذف شوند در صورتی که این ارقام ممکن است به بیماری متحمل باشند.

این پژوهش به‌منظور بررسی میزان تحمل ارقام مختلف گندم نسبت به زنگ زرد انجام گردید. کنترل بیماری‌های گیاهی با استفاده از مقاومت به میزبان و تحمل می‌تواند سهم عمده‌ایی در پایداری تولید و امنیت غذایی کشور و جهان داشته باشند. با اجرای این پژوهش این مهم برای اولین بار در کشور انجام شده و در ایجاد مدل‌های مدیریتی پایدار نقش موثری ایفا خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تحمل ارقام گندم نسبت به بیماری زنگ زرد، این پژوهش طی دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹۳) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی نیشابور انجام شد. در این پژوهش اثر زنگ زرد بر عملکرد دانه ۲۰ رقم گندم انتخابی از طریق کشت این ارقام در شرایط بیماری شدید (تنش) و مقایسه عملکرد آن‌ها با شرایط حفاظت شده از بیماری (عدم تنش) بررسی گردید.

ارقام انتخابی برای اجرای این تحقیق شامل زرین، تجن، الموت، سرداری، افق، سیستان، چمران، سیروان، کویر، بهار، شیراز، الوند، بم، اینیا، نیشابور، شیرودی، شهریار، روشن، توس و بولانی بود. این ارقام، اغلب ارقام پر پتانسیل و با ویژگی‌های بسیار مطلوب زراعی مانند تحمل به تنش‌های غیرزنده همانند گرما و شوری بوده که غالباً (بجز سیروان) به زنگ زرد حساس بودند.

هر رقم در شش خط به طول شش متر و فاصله ۲۰ سانتی متر و تراکم بذر ۴۰۰ بذر در متر مربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار کشت شد. برای ارزیابی تحمل به زنگ زرد، آزمایش در در دو شرایط بیماری و بدون بیماری انجام شد.

مایه‌زنی بیماری از ۲۵ بهمن شروع و تا آخر اسفند ادامه یافت. برای حفاظت تیمارهای شاهد از قارچکش پروپیکونازول با نام تجاری تیلت و فرمولاسیون EC25% به میزان نیم لیتر در هکتار

قبل از ظهور جوش زنگ زرد استفاده شد و به فاصله سه هفته یکبار سمپاشی تکرار شد. در شرایط ایجاد بیماری دور تا دور آزمایش به پهنای دو و طول شش متر رقم حساس بولانی کشت شد. در شرایط حفاظت از بیماری به همین ترتیب دور تا دور آزمایش حفاظت از بیماری، رقم مقاوم پیشتاز کشت گردید.

مایه‌زنی مصنوعی، با استفاده از جدایه‌های زنگ نیشابور (به‌صورت مخلوطی از اسپور زنگ زرد و پودر تالک به نسبت یک به ده) به کمک گرد پاش دستی هنگام غروب قبل از بارندگی انجام گردید. به‌منظور جلوگیری از پخش اسپورها به سایر تیمارها در هنگام اسپور پاشی دور تا دور کرت توسط یک لایه پلاستیک به ارتفاع یک و نیم متر محصور شد.

کلیه عملیات زراعی اعم از تهیه زمین، تامین نیازهای کودی و آبی و کنترل با علف‌های هرز براساس عرف منطقه و توصیه‌های فنی انجام شد.

بیماری زنگ زرد در اواخر مرحله پنجه‌زنی درایستگاه نیشابور ظاهر و بتدریج توسعه یافت و درصد آلودگی در بوته‌های حساس بولانی بالغ بر ۹۰ درصد سطح برگ رسید. تیمار بدون مایه‌زنی با قارچکش محافظت و به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در آزمایش اعمال بیماری، پوشش بیماری روی ارقام مورد بررسی به طور کاملا یکنواخت گسترش یافت.

یادداشت‌برداری از شدت بیماری روی برگ پرچم برای ارقام مختلف پس از یکنواختی در ظهور بیماری بر روی رقم حساس، هر ده روز یکبار از طریق تعیین درصد پوشش آلوده سطح برگ (۱۰۰-۰) براساس روش اصلاح شده کاب (Peterson *et al.*,1948) و تعیین تیپ آلودگی براساس روش رولفز و همکاران (Roelfs *et al.*, 1992) انجام شد. میانگین شدت بیماری در مزرعه با در نظر گرفتن شدت بیماری در همه کرت ارزیابی شد. مدت زمان فعالیت عامل بیماری بر روی گیاهان بیمار بیش از ۸۰ روز ثبت گردید. این دوره فعالیت طولانی منطبق با مراحل تشکیل و پر شدن دانه بود. ارقام بر اساس شدت آلودگی به سه گروه آلودگی با شدت بالا (شدت ۵۰٪ و بالاتر)، آلودگی با شدت متوسط (بیشتر از ۳۰٪ و کمتر از ۵۰٪) و آلودگی با شدت پایین (تا ۳۰٪) تقسیم شدند.

در زمان برداشت عملکرد دانه هر کرت و وزن هزاردانه اندازه گیری شد. پس از برداشت محصول، ارزیابی ارقام برای تحمل به تنش بیماری انجام شد. بدین‌منظور با استفاده از میانگین عملکرد دانه هر رقم در شرایط بیماری (تنش) و بدون بیماری (بدون تنش) شاخص‌های تحمل به تنش بیماری (STI)، حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، درصد تغییرات عملکرد هر رقم (PYV) و شدت تنش (SI) در ارقام به شرح ذیل محاسبه شد:

SSI = Stress Susceptibility Index = $\frac{1-(Ys/Yp)}{1-(\bar{Y}s/\bar{Y}p)}$ (Fisher and Maurer, 1978)

STI = Stress Tolerance Index = $\frac{Ys \times Yp}{\bar{Y}p^2}$ (Fernandez 1992)

TOL = Tolerance Index = $Yp - Ys$ (Rosielle and Hamblin, 1981)

MP = Mean Productivity = $\frac{Yp+Ys}{2}$ (Rosielle and Hamblin, 1981)

GMP = Geometric Mean Productivity = $\sqrt{Yp \times Ys}$ (Fernandez 1992)

YSI = Yield Stability Index = $\frac{Ys}{Yp}$ (Bouslama and Schapaugh, 1984)

YI = Yield Index = $\frac{Ys}{\bar{Y}s}$ (Gavuzzi *et al.,* 1997)

PYV = Percentage yield variations of each cultivar = $\left[\frac{(Yp-Ys)}{Yp}\right] \times 100$

SI = Stress Intensity = $[1-(\bar{Y}s/\bar{Y}p)]$ (Fisher and Maurer, 1978)

در این روابط Ys و Yp به‌ترتیب عملکرد دانه هر رقم در شرایط بیماری (تنش) و بدون بیماری (بدون تنش) و $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ به‌ترتیب میانگین عملکرد دانه کل ارقام در شرایط بدون بیماری (بدون تنش) و در شرایط بیماری (تنش) می‌باشد. تجزیه واریانس ساده در هر سال و تجزیه واریانس مرکب در پایان سال دوم بر روی داده‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه ارقام گندم در آزمایش زنگ زرد در سال دوم نتایج سال اول (جدول ۱) را تایید کرد اما میانگین خسارت عملکرد ارقام از ۱۶ درصد خسارت به حدود ۲۰ درصد خسارت افزایش یافت. تجزیه واریانس سال دوم نشان داد که اختلاف عملکرد ارقام در شرایط آلودگی و عدم آلودگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

با توجه به نتایج درصد کاهش عملکرد ارقام در تیمار آلودگی به زنگ زرد ارقام بولانی، سرداری و روشن بیشترین درصد خسارت را نسبت به زنگ زرد داشتند (جدول ۲). تجزیه واریانس همچنین نشان داد بین ارقام مختلف مورد بررسی در واکنش به بیماری تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت. عکس العمل ارقام و درصد کاهش عملکرد و وزن هزاردانه در جدول ۲ ارائه شده است.

با تمهیداتی که انجام شد، زنگ زرد تنها در آزمایش اعمال بیماری مستقر گردید و بیماری در آزمایش حفاظت شده به طور کامل کنترل شد. شدت تنش (SI) زنگ زرد در آزمایش اعمال بیماری در سال دوم ۰/۲۰۴ محاسبه شد.

نتیجه جالب توجه در گروه ارقام مقاوم مربوط به رقم مقاوم سیروان بود. رقم مقاوم سیروان با متوسط آلودگی 10MR واکنش نیمه مقاوم را در بین ارقام مورد بررسی نسبت به

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد دانه ارقام در شرایط تنش و عدم تنش بیماری زنگ زرد (۹۵-۱۳۹۳)

Table 1. Analysis of variance for grain yield in non-stress and stress of yellow rust disease conditions (2015&2016)

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی Df.	میانگین مربعات MS ۱۳۹۴ 2015	۱۳۹۵ 2016
Stress (S)	تنش	1	3958153.6**	32855914.0**
Error	خطا	4	155751.4	137145.3
Cultivar (C)	رقم	19	3952075.5**	7016762.7**
S × C	تنش × رقم	19	520051.3**	947899.8**
Error	خطا	76	507547.7	296227.0
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		11.79	11.81

**: Significant at the 1% probability level. **: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

جدول ۲- واکنش ارقام گندم نسبت به بیماری زنگ زرد، عملکرد دانه، درصد کاهش عملکرد و وزن هزاردانه در ایستگاه نیشابور (سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴)

Table 2. Wheat cultivars response to yellow rust disease, grain yield yield reduction (%) in Neishabour station (2016)

Wheat cultivars	ارقام گندم	واکنش ارقام Response	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط بیماری Grain yield (Kgha^{-1}) in disease condition MGY	PYR	PTGWR
High Severity	شدت بالا				
Roshan	روشن	70S	2667	-37.2	-18.29
Inia	اینیا	50S	4031	-12.6	-6.35
Toos	توس	60S	4106	-25.1	-11.87
Alamot	الموت	50S	3394	-22.3	-6.46
Neishabour	نیشابور	50S	4656	-13.8	-1.75
Kavir	کویر	50S	4914	-16.1	-6.01
Shahriar	شهریار	60S	2822	-52.3	-11.38
Sardari	سرداری	80S	1539	-57.9	-29.66
Bolani	بولانی	100S	414	-86.3	-50.68
Moderate Severity	شدت متوسط				
Sistan	سیستان	40MS	4225	-21.5	-4.64
Tajan	تجن	40MS	4189	-2.5	-1.45
Alvand	الوند	40MS	3853	-17.0	-8.36
Low Severity	شدت پائین				
Chamran	چمران	10MS	4258	-5.9	-3.47
Sirvan	سیروان	10MR	5178	-15.0	-9.35
Bahar	بهار	20MS	5697	-9.0	-4.37
Shiroodi	شیرودی	30MS	5425	-7.3	-3.48
Shiraz	شیراز	20MS	5031	-16.2	-4.56
Bam	بم	5MR	4903	-16.8	-9.34
Zarrin	زرین	30MS	5217	0.9	1.17
Ofogh	افق	10MS	5178	-13.2	-2.76

MGY = Mean grain yield = میانگین عملکرد

PYR = Percentage of yield reduction compared to the check cultivar
درصد کاهش عملکرد نسبت به شاهد (همان رقم بدون آلودگی)

PTGWR = Percentage of thousand grain weight reduction compared to the check cultivar =
درصد کاهش وزن هزاردانه نسبت به شاهد (همان رقم بدون آلودگی)

بیماری زنگ زرد نشان داد. با وجود مقاومت بالا از نظر عملکرد حدود ۱۵ درصد در آزمایش بیماری نسبت به آزمایش محافظت از بیماری کاهش عملکرد (۸۸۵ کیلوگرم در هکتار) نشان داد که در بین گروه ارقام مقاوم کاهش عملکرد قابل توجهی داشت و پس از ارقام حساس بولانی، سرداری، روشن، توس و شهریار رقم سیروان بیشترین کاهش وزن هزاردانه را داشت (جدول ۲) و نشان داد رابطه بین کاهش عملکرد و شدت بیماری می‌تواند به طور گسترده‌ای بین محصولات زراعی متفاوت باشد.

میانگین وزن هزاردانه سیروان در سه تکرار آزمایش عدم تنش ۵۲/۱ گرم و در شرایط تنش ۴۷/۲ گرم بود. این رقم مقاوم در طی دوره طولانی بیماری کاهش وزن هزاردانه آن ۹/۳۵ درصد برآورد گردید. در مجموع میانگین درصد کاهش عملکرد ارقام مورد بررسی در سال دوم نسبت به زنگ زرد ۲۰/۴ درصد برآورد شد. میانگین وزن هزاردانه بولانی، سرداری و شهریار به ترتیب در شرایط تنش بیماری ۲۴ گرم، ۳۸/۳ گرم و ۳۶/۳ گرم و در شرایط عدم تنش (محافظت از بیماری) ۴۸/۷ گرم، ۵۴/۴ گرم و ۴۱ گرم بود.

میانگین وزن هزاردانه تجن، چمران، شیرودی و زرین به ترتیب در شرایط تنش بیماری ۴۰/۷ گرم، ۴۶/۴ گرم، ۴۸/۱ گرم، ۴۰/۴ گرم و در شرایط عدم تنش ۴۱/۳ گرم، ۴۸/۱ گرم، ۴۹/۹ گرم و ۳۹/۹ گرم بود. تجن، نیشابور، افق و چمران، شیرودی، بهار به ترتیب کمترین کاهش وزن هزاردانه را نشان دادند و بولانی، سرداری، روشن، شهریار، توس و سیروان به ترتیب بیشترین کاهش وزن هزاردانه را داشتند.

با توجه به مشابهت نتایج در دو سال شرح عکس العمل ارقام بر اساس نتایج دو ساله انجام شد.

تجزیه واریانس مرکب دو ساله

تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو ساله نشان داد که تفاوت بین تیمار آلودگی (تنش) و عدم آلودگی (بدون تنش) در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج میانگین دو ساله عملکرد دانه ارقام مختلف در تیمار آلودگی ارقام بولانی، سرداری و شهریار بیشترین میزان خسارت را داشتند و تفاوت معنی‌داری با ارقام دیگر داشتند (جدول ۴).

تجزیه واریانس (داده‌ها) همچنین نشان می‌دهد بین ارقام مختلف مورد بررسی در واکنش به بیماری تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد این موضوع نشان می‌دهد که توان ژنتیکی ژنوتیپ‌ها در بروز مقاومت و تحمل به بیماری در شرایط همه‌گیری زنگ زرد گندم متفاوت بود.

مقایسه میانگین تیمار آلودگی در ارقام مختلف نشان داد که به ترتیب ارقام بولانی، سرداری، شهریار و روشن بیشترین میزان خسارت را داشتند و با توجه به آلودگی بالای ۲۰ درصد به‌عنوان ارقام بسیار حساس ارزیابی

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و وزن هزاردانه ارقام در شرایط تنش و عدم تنش بیماری زنگ زرد (۹۵-۱۳۹۳)

Table 3. Combined analysis of variance for grain yield and thousand grain weight in non-stress and stress of yellow rust disease conditions (2015 to 2016)

		درجه آزادی	MS میانگین مربعات	
S.O.V.	منبع تغییرات	df.	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000 grain weight
Year (Y)	سال	1	80268040.1**	3281.2**
Stress (S)	تنش	1	39047506.8**	942.5**
Y × S	سال × تنش	1	3450242.4**	23.7*
Rep(YS)	تکرار درون سال و محیط	8	96068.4ns	1.9ns
Cultivar (C)	رقم	19	5506897.9**	156.6**
Y × C	رقم × سال	19	2488283.7**	13.5ns
S × C	تنش × رقم	19	666702.5**	28.6**
Y × S × C	سال × تنش × رقم	19	328854.9ns	26.6**
Error	خطا	152	227688.2	3.7
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		11.84	4.87

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns: غیر معنی‌دار

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns: Not- significant

شدند (جدول ۴). این ارقام برای کشت در مناطق پر خطر بیماری زنگ زرد مناسب نیستند. رقم بولانی با آلودگی متوسط بالای ۵۶ درصد در تیمار آلودگی به زنگ زرد حساس‌ترین رقم شناسایی شد و رقم زرین و تجن کمترین میزان خسارت را داشتند.

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله داده‌های عملکرد دانه نشان داد که اثر متقابل سال × تنش و اثر متقابل سال × رقم و نیز اثر متقابل سال × تنش × رقم معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر تنش و ارقام مورد بررسی مستقل از شرایط سال نبوده و شدیدا به شرایط تنش وابسته بودند که در این بررسی مشخص شد که سال و شرایط تنش هم بر گیاه هم بر بیماری اثر گذاشت. به عبارتی خسارت بیماری تحت تاثیر شرایط محیطی بوده و هرچه شرایط مساعدتر باشد بیماری توسعه یافته و میزان خسارت در تیمار آلودگی افزایش داشت و در شرایط مناسب‌تر محیطی (سال دوم اجرای آزمایش اصلی) خسارت ارقام بالاتر بود.

شدت بیماری در دو سال متفاوت بود و در سال دوم حدود پنج درصد افزایش یافت. میزان بارندگی نیشابور در سال اول اجرای آزمایش اصلی ۱۸۵ میلی‌متر و در سال دوم اجرای آزمایش اصلی ۲۶۱ میلی‌متر گزارش گردید. که عمده بارندگی سال دوم در اسفند، فروردین و اردیبهشت بود که مصادف با زمان فعالیت زنگ زرد بود. تیمار آلودگی بر روی میزان

جدول شماره ۴- میانگین دو ساله عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ارقام گندم در شرایط تنش و عدم تنش بیماری زنگ زرد

Table 4. Mean grain yield (kgha^{-1}) of wheat cultivars under stress and non-stress of yellow rust conditions

		میانگین عملکرد دانه		
Cultivar	رقم	در شرایط بیماری MCYS	شرایط بدون بیماری MCYNS	درصد خسارت Yield reduction (%)
Bahar	بهار	4602.4a-g	5121.0ab	10.13
Ofogh	افق	4444.7a-h	5026.8abc	11.58
Sirvan	سیروان	4379.7a-h	5172.0a	15.32
Zarrin	زرین	4273.3b-h	4429.3a-h	3.52
Shiroodi	شیرودی	4255.4c-h	4702.4a-f	9.51
Shiraz	شیراز	4169.0c-i	4911.7a-d	15.12
Neishabour	نیشابور	4071.1d-i	4794.3a-e	15.08
Kavir	کویر	4048.6d-i	4822.3a-e	16.04
Chamran	چمران	3989.6e-j	4383.6a-h	8.99
Tajan	تجن	3909.4f-j	4146.1d-i	5.71
Bam	بم	3872.2f-j	4600.1a-g	15.82
Sistan	سیستان	3833.3f-j	4591.1a-g	16.50
Alvand	الوند	3686.8h-j	4360.2a-h	15.44
Inia	اینیا	3580.7h-k	4091.7c-i	12.49
Alamot	الموت	3357.6i-l	4073.2d-i	17.57
Toos	توس	3333.6i-l	4377.3a-h	23.84
Shahriar	شهریار	2827.8kl	4783.5a-e	40.88
Roshan	روشن	2626.3l	3744.1g-j	29.86
Sardari	سرداری	1874.4m	3326.0i-l	43.64
Bolani	بولانی	1388.6m	3203.9jkl	56.66

میانگین‌های، در هر ستون، دارای حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each calumn, followed by similar letter(s) are not significantly different at the 5% probability level- Using Duncan's Multiple Range Test.

MCYNS = Mean grain yield of wheat cultivars under non-stress condition.
MCYS = Mean grain yield of wheat cultivars under stress condition.

خسارت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار آلودگی فقط در رقم بولانی بیش از ۵۶ درصد خسارت ایجاد کرد (جدول ۴).

نتایج دو ساله نشان داد که شدت تنش (SI) زنگ زرد در دو سال ۰/۱۸۲ بود. بر اساس نتایج دو ساله شاخص‌های تنش، کمترین تغییرات عملکرد محصول در اثر آلودگی به بیماری زنگ زرد به ترتیب مربوط به ارقام زرین (۳/۵۲٪)، تجن (۵/۷۱٪)، چمران (۸/۹۹٪)، شیرودی (۹/۵۱٪)، بهار (۱۰/۱۳٪) افق (۱۱/۵۸٪) و اینیا (۱۲/۴۹٪) بود و در شرایط آلودگی به زنگ زرد در نیشابور بیشترین پایداری عملکرد را داشتند. بر اساس همین

محاسبات بیشترین تغییرات عملکردی با حدود ۳۰ الی ۵۷ درصد کاهش محصول به‌ترتیب ارقام بولانی، سرداری، شهریار و روشن بود که بیشترین خسارت و کمترین پایداری عملکرد در شرایط آلودگی زنگ زرد داشتند. در مجموع میانگین درصد کاهش عملکرد ارقام مورد بررسی در دو سال نسبت به زنگ زرد در نیشابور ۱۸/۲ درصد برآورد گردید.

بر اساس شدت آلودگی به بیماری زنگ زرد، ارقام در سه گروه ذیل قرار گرفتند:

۱- گروه ارقام با شدت آلودگی بالا (۵۰٪< آلودگی): بر اساس نتایج دو ساله در این گروه کمترین درصد کاهش عملکرد دانه مربوط به رقم اینیا بود این رقم در اثر بیماری حدود ۱۲/۵ درصد کاهش عملکرد نشان داد. در گروه ارقام حساس پس از اینیا به‌ترتیب رقم نیشابور با حدود ۱۵ درصد کاهش عملکرد دانه و کویر با حدود ۱۶ درصد کاهش عملکرد متحمل‌ترین ارقام به زنگ زرد بودند. با وجود کاهش ۱۶ درصدی عملکرد دانه در رقم کویر نسبت به شاهد محافظت شده آن، از نظر مقدار عملکرد دانه در شرایط تنش بیماری، رقم کویر نسبت به اینیا و نیشابور عملکرد دانه بالاتری داشت.

از نظر میانگین عملکرد ارقام در دو محیط بیماری و بدون بیماری در مدت دو سال زراعی رقم کویر با میانگین عملکرد ۴۴۳۵ کیلو در هکتار و نیشابور با عملکرد ۴۴۳۳ کیلو در هکتار بالاترین عملکرد را در این گروه داشتند. بر اساس شاخص پایداری عملکرد دانه به‌ترتیب اینیا، نیشابور و کویر در این گروه پایدارتر بودند.

بولانی با میانگین حدود ۵۷ درصد، سرداری با ۴۴ درصد کاهش و شهریار با ۴۱ درصد کاهش عملکرد دانه حساس‌ترین ارقام بودند. شهریار از نظر میزان کاهش عملکرد دانه (در هر سال ۱۹۵۶ کیلو گرم در هکتار) بیشترین کاهش عملکرد دانه را نشان داد.

۲- گروه ارقام با شدت آلودگی متوسط (۵۰٪ > آلودگی > ۳۰٪): رقم تجن با کمتر از شش درصد کاهش عملکرد متحمل‌ترین رقم این گروه ارزیابی گردید. پس از آن الوند با حدود ۱۵ درصد کاهش عملکرد و سیستان با کمتر از ۱۷ درصد نسبت به شاهد محافظت شده در برابر بیماری، ارقام نسبتا متحمل ارزیابی شدند. از نظر عملکرد دانه در دو محیط بیماری و حفاظت شده از بیماری رقم سیستان با ۴۲۱۲، تجن با ۴۰۲۸ و الوند با ۴۰۲۴ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند اما از لحاظ شاخص پایداری تجن با شاخص پایداری ۰/۹۴۳ پس از رقم زرین بالاترین شاخص پایداری عملکرد را داشت (جدول ۵). از نظر وزن هزاردانه در طی دو سال تجن ۲/۱ درصد، سیستان با ۶/۹ درصد و الوند با ۸/۴ درصد کاهش وزن هزاردانه داشتند (جدول ۵).

جدول ۵- برآورد شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش در ارقام گندم بر اساس میانگین عملکرد دانه در شرایط بیماری زنگ زرد و بدون بیماری در ایستگاه نیشابور (سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴)

Table 5. Estimated indexes of susceptibility and tolerance based on mean grain yield of wheat cultivars under stress and non-stress of yellow rust disease in Neishabour station (2015 - 2016 cropping season)

		Stress indexes under disease condition							
Cultivar	رقم	SSI	TOL	STI	MP	GMP	YSI	YI	PYV
Zarrin	زرین	0.19	155.94	0.96	4351.31	4350.61	0.965	1.18	3.52
Tajan	تجن	0.31	236.61	0.82	4027.75	4026.01	0.943	1.08	5.71
Chamran	چمران	0.49	394.00	0.89	4186.58	4181.95	0.910	1.10	8.99
Shiroodi	شیرودی	0.52	447.03	1.02	4478.93	4473.35	0.905	1.17	9.51
Bahar	بهار	0.56	518.67	1.20	4861.69	4854.77	0.899	1.27	10.13
Ofogh	افق	0.64	582.06	1.14	4735.75	4726.80	0.884	1.23	11.58
Inia	اینیا	0.69	511.03	0.75	3836.21	3827.69	0.875	0.99	12.49
Neishabour	نیشابور	0.83	723.19	0.99	4432.71	4417.94	0.849	1.12	15.08
Shiraz	شیراز	0.83	742.64	1.04	4540.35	4525.14	0.849	1.15	15.12
Sirvan	سیروان	0.84	792.25	1.15	4775.85	4759.39	0.847	1.21	15.32
Alvand	الوند	0.85	673.39	0.82	4023.50	4009.39	0.846	1.02	15.44
Bam	بم	0.87	727.86	0.91	4236.15	4220.49	0.842	1.07	15.82
Kavir	کویر	0.88	773.64	0.99	4435.43	4418.53	0.840	1.12	16.04
Sistan	سیستان	0.91	757.75	0.90	4212.21	4195.13	0.835	1.06	16.50
Alamot	الموت	0.97	715.56	0.70	3715.42	3698.15	0.824	0.93	17.57
Toos	توس	1.31	1043.67	0.74	3855.44	3819.97	0.762	0.92	23.84
Roshan	روشن	1.64	1117.89	0.50	3185.19	3135.77	0.701	0.72	29.86
Shahriar	شهریار	2.25	1955.72	0.69	3805.64	3677.86	0.591	0.78	40.88
Sardari	سرداری	2.40	1451.58	0.32	2600.24	2496.89	0.564	0.52	43.64
Bolani	بولانی	3.11	1815.28	0.23	2296.25	2109.25	0.433	0.38	56.66

SSI = Stress Susceptibility Index = شاخص حساسیت به تنش
TOL = Tolerance Index = شاخص تحمل, MP = Mean Productivity = شاخص میانگین بهره‌وری
STI = Stress Tolerance Index = شاخص تحمل به تنش
GMP = Geometric Mean Productivity = میانگین هندسی بهره‌وری
YSI = Yield Stability Index = شاخص پایداری عملکرد, YI = Yield Index = شاخص عملکرد
PYV = Percentage yield variations of each cultivar = درصد تغییرات عملکرد هر رقم

۳- گروه ارقام با شدت پایین آلودگی (ارقام ۳۰٪ > آلودگی): رقم زرین با متوسط آلودگی 30MS در دو سال با میانگین کمتر از ۱۵۶ کیلوگرم در هکتار کاهش نسبت به شاهد

کمترین کاهش عملکرد دانه را داشت و پس از آن چمران با کمتر از نه درصد کاهش عملکرد (۳۹۴ کیلوگرم در هکتار)، شیرودی با کمتر از ۱۰ درصد کاهش عملکرد (۴۴۷ کیلوگرم در هکتار)، بهار با حدود ۱۰ درصد کاهش عملکرد (۵۱۹ کیلوگرم در هکتار) و افق حدود ۱۲ درصد کاهش (۵۸۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه داشتند. در این گروه ارقام سیروان و بم به‌ترتیب با حدود ۱۵ و ۱۶ درصد بیشترین کاهش عملکرد دانه را در این گروه داشتند (جدول ۵).

رابرتس و همکاران (Roberts *et al.*, 1984) تحمل به زنگ قهوه‌ای ده رقم گندم نان را تحت شرایط کنترل شده در گلخانه بر روی عملکرد دانه، تعداد و وزن‌دانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که آلودگی‌های قبل از به سنبله‌رفتن باعث بیشترین میزان کاهش عملکرد به میزان ۵۶ درصد شد. در این بررسی میانگین کاهش عملکرد نیز حدود ۱۵ درصد و مربوط به آلودگی‌های بعد از به سنبله‌رفتن بود. رقم Fulhard متحمل‌ترین رقم بود و بالاترین سطح حفاظت در برابر کاهش عملکرد ناشی از بیماری را داشت (Roberts *et al.*, 1984). وجود ارقام با میانگین عملکرد دانه بالا در شرایط تنش به بیماری در این پژوهش نشان داد که شناسایی این ارقام، معرفی و توسعه آن باعث پایداری عملکرد دانه در مناطق پر خطر بیماری خواهد شد.

مارتینز و همکاران (Martínez *et al.*, 2012) با بررسی تحمل رقم گندم Amilcar نسبت به زنگ قهوه‌ای اعلام کردند که اگر آلودگی قبل از ظهور برگ پرچم رخ دهد میزان کاهش عملکرد دانه تنها ۳۶ درصد می‌باشد، در حالی که در رقم شاهد حساس میزان کاهش عملکرد دانه حدود ۶۰ درصد بود. آنها همچنین نشان دادند که در رقم 'Avispa در شرایط آلودگی بعد از ظهور برگ پرچم تنها ۲۳ درصد عملکرد دانه کاهش یافت، در حالی که در رقم شاهد حساس این کاهش عملکرد دانه حدود ۵۰ درصد بود.

نتایج پژوهش دادرضائی و همکاران (Dadrezaei *et al.*, 2018) در بررسی تحمل ژنوتیپ‌های منتخب گندم نان به بیماری زنگ قهوه‌ای در اهواز نشان داد که دامنه خسارت ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به زنگ قهوه‌ای از شش الی ۴۶ درصد متغیر بود. در بین ارقام حساس به این بیماری ارقام افق و بهار به ترتیب با ۱۷ و ۲۲ درصد کاهش عملکرد دانه متحمل‌ترین ارقام این گروه بودند.

تحمل به بیماری روش بسیار مناسبی برای جلوگیری از حذف ارقام پر پتانسیلی می‌باشد‌که مقاومت آن‌ها به‌دلیل استفاده از تک ژن‌های مقاومت شکسته شده اما کماکان در شرایط همه‌گیری بیماری، محصول خوبی تولید می‌کنند. همچنین ارقام متحمل مشکل ایجاد و تولید سریع نژادهای جدید زنگ‌ها را که در شرایط رقابت در محیط‌های زنده و طبیعی

همواره در طبیعت بین گندم و عامل زنگ در چرخه (Boom and Bust Cycle) وجود دارد را نیز کاهش می‌دهد. به این ترتیب که در شرایط رقابت در محیط‌های زنده و طبیعی ارقام گندم متحمل با اجازه رشد طبیعی و عادی به همه نژادهای بیمارگر فشار جهش‌ها بر جمعیت این عوامل را کاهش می‌دهد، بنابراین باعث حفظ تعادل طبیعی شده و در نتیجه، از ظهور نژاد پرآزار جدید نیز جلوگیری می‌نماید.

برای حفاظت از عملکرد و ژرپلاسم گندم با ارزش کشور باید راهبرد حذف و نگه‌داری ارقام تجاری به گونه‌ای اعمال گردد که تنها به ارقامی اجازه ادامه کشت داده شود که به بیماری متحمل باشند. به همین دلیل نیاز است که ارقام متحمل به بیماری، شناسایی و نگهداری شوند و ارقام حساس که خسارت شدیدی به آن‌ها وارد می‌شود از گردونه کشت و تولید خارج گردد تا پایداری عملکرد گندم در شرایط همه‌گیری زنگ حفظ شود. در صورت شکسته شدن مقاومت تحمل گزینه مناسبی در مدیریت بیماری می‌باشد که از خسارت سنگین به محصول و کاهش شدید تولید و ناپایداری بالای عملکرد جلوگیری می‌کند.

در بررسی تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش‌های زنده با درک صحیح از اثر متقابل بین بیمارگر، میزبان و محیط می‌توان برای بیماری زنگ نیز شاخص مناسبی از میان شاخص‌های تنش انتخاب نموده و رتبه بندی تحمل به بیماری ارقام را انجام داد. نتایج بدست آمده نتایج قبلی در مورد بیماری زنگ قهوه‌ای مبنی بر اینکه شاخص حساسیت به تنش SSI در مقایسه با سایر شاخص‌ها برای غربال و شناسایی ژنوتیپ‌های حساس به بیماری مناسب‌تر را تأیید کرد. هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ در شرایط تنش بیشتر خواهد بود، اما این شاخص نمی‌تواند بیانگر عملکرد دانه بالا در شرایط بدون تنش (پتانسیل بالای عملکردی) باشد. زیرا این شاخص و همچنین شاخص TOL دو شاخصی هستند که تاثیر پذیری کمی از میزان عملکرد دانه در شرایط بهینه دارند و بیشتر از میزان عملکرد گیاه در شرایط تنش تاثیر پذیرفته‌اند.

شاخص حساسیت به تنش (SSI) و درصد تغییرات عملکرد هر رقم (PYV) می‌توانند شاخص‌های مناسبی برای انتخاب ارقام متحمل به زنگ در مناطق پر خطر زنگ زرد مانند مناطق شمال و دشت مغان باشند اما شاخص تحمل به تنش STI در مقایسه با سایر شاخص‌ها، شاخص مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌ها با عملکرد مطلوب در دو شرایط تنش و بدون تنش می‌باشد. این شاخص برای مناطق کم خطرتر زنگ نیز مانند مناطق مرکزی و مناطق نیمه خشک کشور مناسب‌تراست (Dadrezaei *et al.,* 2018).

در هند شاخص تحمل به تنش بیماری STI، معیار انتخاب مناسبی برای ارزیابی لاین‌های جو در تحمل به تنش بالای بیماری و پتانسیل عملکرد آن‌ها تشخیص داده شد. از ۲۱ ژنوتیپ

بررسی شده ژنوتیپ‌های K824، K832، RD2035، Jyoti و K826 برتری یکسانی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بیماری داشتند (Mudi *et al.*, 2016).

ارقام مقاوم گندم از تکثیر زنگ و گسترش و شدت خسارت آن در منطقه می‌کاهند و عموما خود دچار خسارت ناچیز می‌شوند، اما ممکن است خود ارقام مقاوم با وجود مقاومت دچار خسارت قابل توجهی شوند (مانند رقم سیروان در مقابل زنگ زرد) اما چون روی هم‌رفته خسارت آن‌ها از ارقام حساس کمتر می‌باشد و گسترش زنگ‌ها و شدت آن را کاهش می‌دهند و از ایجاد همه‌گیری بیماری جلوگیری می‌کنند وجود آن‌ها در منطقه ضروری می‌باشد. برای حفظ پایداری عملکرد دانه و مدیریت بیماری باید ارقام حساسی که عملکرد دانه آن‌ها شدیدا تحت تاثیر بیماری قرار می‌گیرد و کاهش شدید داشتند را حذف و ارقامی که عملکرد دانه آن‌ها کمتر تحت تاثیر بیماری بودند و عملکرد دانه قابل قبولی داشتند را برای ادامه کشت در منطقه نگهداری و مورد بهره‌برداری قرار داد تا ارقام جدید مناسب‌تر جایگزین آنها شوند.

بر اساس شاخص SSI می‌توان تحمل ژنوتیپ‌ها را بر اساس پایداری عملکرد دانه آنها رتبه بندی کرد. به این منظور از راهبرد گزینش بر اساس مقادیر عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش استفاده می‌شود. به‌منظور شناسایی و کنار گذاشتن ژنوتیپ‌های حساس به تنش از میان ژنوتیپ‌های متحمل میزان آستانه کمی شاخص SSI را تعیین می‌کنیم. بدین ترتیب عمل می‌شود که میزان SSI معیار را از رابطه (شدت تنش منهای یک) بدست آورده و ژنوتیپ‌های دارای مقدار SSI مساوی یا بیشتر از SSI معیار در شرایط آزمایش را حساس به بیماری در نظر گرفته و از میان ژنوتیپ‌های موجود حذف می‌گردد (جدول ۵). پس ژنوتیپ‌های متحمل ژنوتیپ‌های هستند که عملکرد آن‌ها در شرایط تنش نسبت به میانگین افت عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کمتر باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌های که در این آزمایش افت عملکرد دانه آن‌ها در شرایط تنش زنگ زرد از ۱۸ درصد کمتر بود متحمل به زنگ زرد هستند.

بر اساس شاخص SSI معیار (۰/۸۲ = شدت تنش منهای یک) در نتایج دو ساله نیشابور نسبت به زنگ زرد (جدول ۵) ارقام زرین، تجن، چمران، شیرودی، بهار، افق و اینیا که شاخص SSI آن‌ها کمتر از ۰/۸۲ بود انتخاب و بقیه حذف می‌شوند. در این میان، با توجه به پژوهش قبلی در تحمل به بیماری زنگ قهوه‌ای، ارقام افق و اینیا ارقام متحمل به زنگ زرد و قهوه‌ای وجود دارند (جدول ۵). این دو رقم به‌عنوان ارقام متحمل به زنگ زرد و قهوه‌ای برای استفاده در خزانه تلاقی‌های گندم مناسب می‌باشند تا جایگزین ارقام حساس به‌عنوان والد دهنده ژن‌های مقاومت در برنامه‌های به‌نژادی گندم شوند. با استفاده از این ارقام در خزانه تلاقی در صورت شکسته شدن مقاومت به‌دلیل

تحمل این ارقام میزان خسارت کاهش می‌یابد و پایداری عملکرد در شرایط همه‌گیر شدن بیماری تامین می‌گردد.

در این پژوهش تحمل ارقام منتخب گندم براساس عملکرد دانه بررسی شد. اما خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک که ممکن است تحمل به بیماری‌های برگی را بهمراه داشته باشد باید در پژوهش‌های بعدی مورد بررسی قرار گیرند. خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک که ممکن است تحمل به بیماری برگی در گندم و حتی جو را تقیوت کنند احتمالاً مرتبط با فتوسنتز و تنفس برگ پرچم، نحوه قرار گیری سطح برگ‌ها، مرفولوژی برگ، ساختار کانوپی و سرعت فتوسنتز در قسمت‌های غیر آلوده برگ، یا سازوکارهای بافری میزبان و یا وجود و عدم وجود ترانسپورترها در گیاه در خروج مواد مترشحه و تنظیمات جبرانی باشد.

یکی از ساز وکارهای گیاه در ایجاد تحمل به بیمارگر خارج کردن توکسین‌ها، متابولیت‌هایا سایر مواد مضر ترشح شده توسط بیمارگر به سلول‌های میزبان باشد و توان آن‌ها درخنثی کردن این مواد باشد. این مواد برای سلول گیاه مضر می‌باشند و با خروج این مواد سمی (Cytotoxic) تحمل گیاه بالا می‌رود و عملکرد فیزیولوژیکی گیاه حالت طبیعی خواهد داشت. به‌عنوان مثال وجود ترانسپورترهای ABC می‌توانند طیف گسترده‌ای از موادی که برای سلول مضر (Cytotoxic) باشند را برخلاف شیب غلظت در دو سوی غشاء سلولی جابجا نمایند (Dadrezaei and Nazari, 2015). به‌هرحال ارزیابی دقیق‌تر رابطه بین خصوصیات زراعی و تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده به بررسی بیشتر و کامل‌تری نیاز دارد تا از ساز وکار تحمل در گیاهان درک بهتری بدست آید.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله مراتب سپاسگزاری خود را از مسئولین بخش تحقیقات غلات و واحد پاتولوژی تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و همچنین همکارانی که در اجرای این پروژه ما را یاری کردند اعلام می‌دارند.

References

Amini, A., Amirnia, R., and Ghazvini, H. 2015. Evaluation of salinity tolerance in bread wheat genotypes under field conditions. Seed and Plant Improvment Journal 31-1: 95-115 (in Persian).

Amirifar, E., Aghaee Sarbarze, M., Haghparast, R., and Khosroushahli, M. 2011. Yield stability, bread making quality and drought tolerance in bread wheat genotypes. Seed and Plant Improvment Journal 27-2: 233-255 (in Persian).

Bolley, H. L., and Pritchard, F. J. 1906. Rust problems: Facts, observations and theories; possible means of control. North Dakota Agricultural Experimental Station. Bulletin No. 69, Dukota, USA. 66 pp.

Caldwell, R. M., Schafer, J. F., Compton, L. E., and Patterson, F. L. 1958. Tolerance to cereal leaf rusts. Science 128(3326): 714-715.

Chen, X. M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology 27(3): 314-337.

Clarke, J. M., DePauw, R. M., and Townley Smith, T. F. 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science 32: 723-728

Cobb, N. A. 1890-1894. Contributions to an economic knowledge of the Australian rusts (Uredinae). Agricultural Gazettes New South Wales 3:181-212 and 5:239-252.

Dadrezaei, S. T., and Nazari, K. 2015. Detection of wheat rust resistance genes in some of the Iranian wheat genotypes by molecular markers. Seed and Plant Improvement Journal 31-1: 163-187 (in Persian).

Dadrezaei, S. T., Tabatabai, N., Lakzadeh, I., Jafarnezhad, A., Afshari, F., and Hassan Bayat, Z. 2018. Evaluation of tolerance to leaf rust disease in some selected bread wheat genotypes. Journal of Applied Entomology and Phytopathology 86-1: 29-40 (in Persian).

Ehdaie, B., Wains, J. G., and Hall, A. E. 1988. Differential response of landrace and improved spring wheat genotypes to stress environments. Crop Science 28: 838-842.

Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature and Water Stress. Taiwan.

Fisher, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.

Mudi, N., Mahapatra, S., and Das, S. 2016. Assessment of helminthosporium blight resistance in barley using disease stress tolerance index. Indian Phytopathology 69-1: 24-31.

Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology 59: 651-681.

Nazari, K., Torabi, M., Dehgan, M. A., Aghnoum, R., Ahmadian-Moghaddam, M. S., and Fallah, H. 2001. Pathogenicity of *Puccinia striiformis*, and reactions of improved cultivars and advanced lines of wheat to yellow rust in northern provinces of Iran. Seed and Plant 16: 393-424 (in Persian).

Peterson, R. F., Campbell, A. B., and Hannah, A. E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. Canadian Journal of Research 26: 496-500.

Roberts, J. J., Hendricks, L. T., and Patterson, F. L. 1984. Tolerance to leaf rust in susceptible wheat cultivars. Phytopathology 74:349-351.

Roelfs, A. P., Singh, R .P., and Saari, E. E. 1992. Rust disease of wheat: Concepts and methods of disease management. CIMMYT, Mexico, D.F., Mexico. 81 pp.

Torabi, M., Madoukhi, V., Nazari, K., Afshari, F., Forootan, A. R., Ramai, M. A., Golzar, H., and Kashani, A. S. 1995. Effectiveness of wheat yellow rust resistance genes in different parts of Iran. Cereal Rusts and Powdery Mildews Bulletin 23: 9-12.